

旋压成形工艺

张涛 编著



化学工业出版社



BAT JIUM

2UD09

II

210

MOON IS BATHING

II

Technical Station

BAT JIUM



www.cip.com.cn

读图新图书 工业工程网

销售分类建议：锻压

ISBN 978-7-122-03788-6



9 787122 037886 >

定价：38.00 元

旋压成形工艺

张涛 编著

化 学 工 业 出 版 社

旋压成形工艺是一种使毛坯连续局部塑性累积成形为空心回转件的先进的成形工艺方法。本书系统地介绍了旋压成形的的基本方式、金属旋压工艺、可旋压性试验、力能参数的计算及旋压设备简介等内容。

本书主要供从事旋压成形研究与生产的技术人员使用,还可供在进行回转成形等方面工作的专业技术人员和各高校材料加工学科的本科高年级学生及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

旋压成形工艺/张涛编著. —北京:化学工业出版社, 2009.1

ISBN 978-7-122-03788-6

I. 旋… II. 张… III. 旋压 IV. TG386

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 152797 号

责任编辑:邢 涛
责任校对:周梦华

文字编辑:冯国庆
装帧设计:杨 北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司
720mm×1000mm 1/16 印张 10½ 字数 181 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

旋压成形工艺是通过旋轮（或擀棒）等工具做进给运动，加压力于随芯模沿同一轴线旋转的板坯或管坯上，使其产生连续局部塑性成形，成为所需空心回转件的先进成形方法。它综合了锻造、挤压、拉深、环轧、横轧和辊压等工艺特点，也是一种适用于多品种生产的少、无切削加工工艺。在旋压过程中，旋轮与毛坯是逐点接触的，具有省力、节能、制件尺寸精度高、表面质量好、材料利用率高、生产成本低、产品范围广等特点，已经在机械、石油化工、电子电器、日用五金、食品、军工和航空航天等领域得到了广泛的应用。

本书系统地介绍了旋压成型的基本方式、金属旋压工艺、可旋压性试验、力能参数的计算及旋压设备简介等内容。

本书收集和分析了国内外有关文献资料，结合笔者从事旋压成形工艺研究与应用的经验和体会编著而成。本书的出版得到了燕山大学出版基金的资助，并得到了同行、老师、学生及家人等各方面的关心和帮助。在此，笔者表示衷心的感谢。

由于笔者水平所限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

张 涛

2008年9月

目 录

第 1 章 概况	1
1.1 国内外旋压技术的发展	1
1.2 旋压工艺的特点	2
1.3 旋压技术的应用	4
1.3.1 旋压工艺的应用	4
1.3.2 旋压装备的发展	5
第 2 章 旋压成型的基本方式	8
2.1 普通旋压的基本方式	8
2.1.1 拉深旋压	8
2.1.2 缩径旋压	22
2.1.3 扩径旋压	23
2.1.4 普通旋压中的辅助成形	25
2.2 强力旋压的基本方式	26
2.2.1 剪切旋压	27
2.2.2 筒形变薄旋压	28
2.3 其他旋压法	30
2.3.1 内旋压法	30
2.3.2 斜轧式旋压法	31
2.3.3 张力旋压法	32
2.3.4 多旋轮的错距旋压法	32
2.3.5 劈开旋压法	34
2.3.6 钢球旋压法	35
2.3.7 加热旋压法	36
第 3 章 金属旋压工艺	37
3.1 旋压工艺方案的选择	37
3.1.1 旋压方式的选择	37
3.1.2 毛坯的处理	37
3.1.3 旋压设备的选用	37

3.2 毛坯的种类及要求	37
3.2.1 毛坯种类	37
3.2.2 对毛坯的要求	38
3.3 毛坯的设计计算	39
3.3.1 一般锥形件的毛坯计算	39
3.3.2 曲母线形件的毛坯计算	41
3.3.3 封头的毛坯计算	42
3.3.4 筒形件的毛坯计算	44
3.4 旋压过程工艺参数的选择	44
3.4.1 减薄率	44
3.4.2 主轴转速或转速	44
3.4.3 芯模和旋轮的间隙	45
3.4.4 进给量或进给速度	45
3.4.5 旋轮安装角	45
3.4.6 旋压温度	46
3.5 旋压道次规范和旋轮运动轨迹	46
3.5.1 影响旋压道次规范的因素	46
3.5.2 旋轮运动轨迹的计算和作图	46
3.6 金属旋压的润滑和冷却	47
3.7 工艺装备的设计	47
3.7.1 主要工艺装备	47
3.7.2 辅助工艺装备	54
3.8 旋压制品的精度	61
3.9 旋压件的缺陷、产生原因和防止措施	65
3.9.1 旋压件的缺陷、产生原因	65
3.9.2 成形时采用的措施和注意事项	67
3.10 旋压过程中毛坯凸缘的失稳	71
3.11 旋压过程中金属堆积现象	74
第4章 可旋压性试验及力能参数的计算	76
4.1 金属材料的可旋性试验	76
4.1.1 锥形件的可旋性试验	76
4.1.2 筒形件的可旋性试验	87
4.2 旋压力能参数的计算	94
4.2.1 金属旋压变形区的应力状态及假设条件	94

4.2.2	锥形件强力旋压力的计算	101
4.2.3	筒形件强力旋压力的计算	115
4.2.4	几种筒形件强旋时旋压力的计算式	131
4.3	旋压过程的数值模拟研究	135
第5章	旋压设备简介及发展方向	139
5.1	旋压工艺对设备的要求	139
5.1.1	工艺可能性对设备的要求	139
5.1.2	旋压件统计和分类对设备的要求	139
5.1.3	强力旋压工艺特点对设备的要求	142
5.2	旋压机的一般特点	143
5.3	旋压机的布局和其结构形式	144
5.3.1	旋压机的总体布局	144
5.3.2	旋压机的结构形式	147
5.4	几种类型旋压机的结构特点	150
5.4.1	卧式旋压机	150
5.4.2	立式旋压机	151
5.4.3	专用自动旋压机	152
5.5	数控自动旋压机	155
5.5.1	数控自动旋压机的控制系统	155
5.5.2	数控自动旋压机的结构特点	157
5.5.3	数控自动旋压机的数据输入	157
5.5.4	数控旋压技术的研究课题	159
参考文献		160

第 1 章 概 况

1.1 国内外旋压技术的发展

金属旋压是一种金属塑性成形的加工工艺。选用这种工艺能够较容易地制作各种旋转对称的薄壁回转件和各种管件等,因此又称其为回转成形工艺。金属旋压工艺具有节省原材料、成本低廉、设备简单和产品质量高等优点,因此旋压工艺在国防、化工、冶金、电子、机械等诸方面起到了越来越大的作用,特别在火箭、导弹和宇航等有关零件的制造方面得到了很好的应用。

根据文献记载,陶瓷的制坯方法可能为金属旋压提供了工艺的雏形。我国早在 3500~4000 年前的殷商时代,就已经会使用陶轮(或陶车)制作陶坯。后来又在 10 世纪初发明了金属旋压工艺,并将金属薄板制成了空心件。这种技术于 13 世纪传到英国,直到 1840 年前后才传到美国。

金属旋压工艺在相当长的时期里处于落后状态,最古老的旋压机用人力驱动,并使用棒形工具成形。以后又使用了水力和蒸汽动力来驱动旋压机的主轴。电动机的出现,使用液压动力和将棒形工具改变为旋轮后,使旋压机发生了重大突破,大大提高了金属旋压的水平 and 能力。

20 世纪中叶,普通旋压有了如下三个方面的重大进展:①普通旋压设备逐渐机械化,在 20 世纪 50 年代出现了模拟手工旋压的设备,即采用液压助力器等驱动旋轮往复移动,以实现进给和回程,因而减轻了操作工的劳动强度;②20 世纪 60~70 年代出现了能单向多道次进给的电气液压程序控制的半自动旋压机;③由于电子工业的发展,于 20 世纪 60 年代后期,国外(首先是德国莱弗尔德公司)在自动旋压机的基础上发展了数控系统(NC 的 CNC 控制系统)和录返系统(PNC 系统)的旋压机。这些技术的成熟使普通旋压技术冲破了小批量生产的限制,而应用于中批量和大批量生产中。

在普通旋压技术基础上发展起来的强力旋压法,于第二次世界大战前后用于欧洲(瑞典、德国)的民用工业(例如加工锅皿等容器)。随着科学技

术的发展,旋压技术已在许多国家得到惊人的发展和广泛的应用。在技术先进的国家已研制出大约两百多种规格的各类旋压机,其中许多已系列化。旋压设备的生产主要集中在美国、德国、俄罗斯、日本、意大利、英国和瑞士等国家。近 30 年来,国外金属旋压技术有了很大发展,目前这项技术已日趋成熟。成熟的主要标志是:旋压设备已经定型,工艺流程稳定,产品多种多样,应用广泛。

我国强力旋压技术研究工作从 20 世纪 60 年代初开始,经过几十年的努力,已获得较大的发展。在旋压工艺、设备设计制造和理论研究及技术推广等方面都取得了很大的进展。

1.2 旋压工艺的特点

金属旋压工艺的原理是将被加工的金属毛坯(管坯)套在芯模上,而板坯则通过尾顶压在芯模的端部,并与芯模一起随主轴旋转,旋轮沿芯模移动。在旋轮的压力下,利用金属的可塑性,逐点将金属加工成所需要的空心回转体制件。

金属旋压工艺在旋制不同形状的制件时,综合了锻造、挤压、拉伸、弯曲、环轧、横轧和滚压等工艺的特点。针对不同毛坯的变形特点,一般可以分为普通旋压和强力旋压两种。在旋压过程中,改变毛坯的形状而基本不改变其壁厚者称为普通旋压;在旋压过程中,既改变毛坯的形状又改变壁厚者称为强力旋压。普通旋压局限于加工塑性较好和较薄的材料,尺寸准确度不易控制,要求操作者具有较高的技术水平。强力旋压与普通旋压相比较,坯料凸缘部分在加工时不产生收缩变形,因而不会产生起皱现象。旋压机床功率较大,对厚度大的材料也能加工,同时制件的厚度沿母线有规律地变薄,较易控制。

金属旋压工艺主要有以下优点。

(1) 金属变形条件好,旋压时由于旋轮与金属接触近乎点接触,因此接触面积小,单位压力高,可达 $2500 \sim 3500 \text{MPa}$ 以上,因此旋压适于加工高强度难变形的材料。而且,所需总变形力较小,从而使功率消耗大大降低。加工同样大小的制件,旋压机床的吨位只是压力机吨位的 $1/20$ 左右。

(2) 制品范围广,根据旋压机的能力可以制作大直径薄壁管材、特殊管材、变断面管材以及球形、半球形、椭圆形、曲母线形以及带有阶梯和变化壁厚的几乎所有回转体制件,如火箭、导弹和卫星的鼻锥与壳体;潜水艇渗透密封环和鱼雷外壳,雷达反射镜和探照灯外壳;喷气发动机整流罩和原动机零件;液压缸、压气机外壳和圆筒;涡轮轴、喷管、电视锥、燃烧室锥体

以及波纹管；干燥机、搅拌机和洗涤机的转筒；浅盘形、盘形、半球形封头；牛奶罐和空芯薄壁的日用品等。

(3) 材料利用率高，生产成本低。旋压加工与机加工相比，可节约材料 20%~50%，最高可达 80%，使成本降低 30%~70%。

(4) 制品性能显著提高，在旋压之后材料的组织结构与力学性能均发生变化，晶粒度细小并形成具有纤维状的特征。抗拉强度、屈服强度和硬度都有提高，强度可提高 60%~90%，而伸长率则降低。

(5) 制品表面粗糙度低，尺寸公差小。旋压加工制品的表面粗糙度一般可达 $3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ ，最好的可达 $0.4 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ，经过多次旋压可达 $0.1 \mu\text{m}$ 。旋压产品可能达到较小的壁厚公差，如 $\phi 300\text{mm}$ ，公差为 0.05mm， $\phi 1600\text{mm}$ 时，公差为 0.12mm。

(6) 金属旋压一个重要的特点是制作整体无缝的回转体空心件，根本消除了与焊缝有关的不连续性、强度降低、脆裂和拉应力集中等弊病。

(7) 金属旋压与板材冲压相比较，金属旋压能大大简化工艺所使用的装备，一些需要 6~7 次冲压的制件，旋压一次即可制造出来，而且金属旋压机床比能力相同的冲压机床的价格便宜一半。

(8) 金属旋压法能制作超宽板材，其方法是将旋压的筒形件沿母线方向切开展平。在国外能旋压 $\phi 2\text{m}$ 筒形件的旋压机不算很大的设备，利用这样的设备很容易制造 6m 宽的板材，但是采用传统的轧制方法要生产 3m 宽的板材就需要相当大的轧机。美国用旋压工艺制造出宽 7.5m、长 9m 的超宽板材。

(9) 在旋压过程中，由于被旋压坯料近似逐点变形，因此，其中任何夹渣、夹层、裂纹、砂眼等缺陷很容易暴露出来。这样，旋压过程也附带起到了对制品检验的作用。

(10) 坯料来源广，可采用空心的冲压件、挤压件、铸件、焊接件、机加工的锻件和轧制件以及圆板作坯料，并且能旋压钛、钼、钨、钽、铌一类难变形的金属及其合金。

金属旋压的缺点如下。

(1) 除了圆筒形、圆锥形、椭圆形等薄壁回转体零件外，其他复杂形状零件用旋压法生产往往是不经济或难以加工的，而且旋压的坯料厚度不能太大，其权限尺寸见表 1-1。

(2) 金属旋压工艺的批量有一定限制，过大过小都不合算。以中小批量较为有利。批量为 50~5000 件时，采用旋压工艺是合算的。批量在 1000 件以下时，旋压制件较冲压件的成本便宜。超过 1000 件时，旋压件比冲压件贵。

表 1-1 零件尺寸和坯料厚度权限（热旋压厚度一般为 75~100mm）

直径/mm	最大厚度/mm		
	低碳钢	不锈钢或高金属钢	铝合金
<1219	38.1	6.35	15.845
1219~1829	31.75	9.525	31.75
1829~3048	19.05	15.845	50.8
3048~4674	12.7	38.1	76.2

1.3 旋压技术的应用

1.3.1 旋压工艺的应用

（1）导弹、火箭、宇宙航行方面 美国在发展导弹、火箭的初期，在制造超高强度轻质火箭发动机壳体时，许多次失败都是由与焊缝有关的缺陷所引起的。如形状的不连续性，强度降低，容易产生脆裂以及应力集中等。这些缺陷随着材料厚度的减薄、重量的轻型化及材料强度水平的提高变得更加严重。随着导弹、火箭技术的发展，人们对材料的比强度提出更高的要求，减少火箭发动机壳体和压力容器的焊缝是非常有益的。

最初美国制造火箭发动机壳体采用卷焊法，即将薄板或厚板卷成圆筒，再将接缝焊接起来，这样在壳体的轴向上有一条焊缝，此焊缝通过火箭发动机的高应力区，会发生开裂，导致失败。为了制作无焊缝整体制件，对中小尺寸的制件曾不惜工本用整体锻件的方式加工出无缝制件。对于较大制件要做到整件无缝，则采用以下两种方法都是有效的：一种方法是旋压法；另一种方法是环轧法。环轧法的特点是轧件的直径尺寸范围较大，但是高度很有限，高度超过 1m 的制件制造起来就很困难。

用金属旋压工艺将超高强度钢制成长 3m、 $\phi 6\text{m}$ 的固体火箭发动机壳体，用于“民兵”“北极星”导弹上。旋压件大量用于导弹的喷管和鼻锥，用于“北极星”导弹的钟形封头。还为“土星”飞船的 S-IC 助推器生产了外径 $\phi 625\text{mm}$ ，长 30m 的管材，在“阿特拉斯”洲际导弹上为不变直径的第一舱生产了 $\phi 3000\text{mm}$ 、壁厚 1mm 的管材和 $\phi 3000\text{mm}$ 、壁厚 0.25mm 的锥形零件。

（2）航空工业方面 现在美国飞机、发动机制造公司几乎全都装备了金属旋压机床，并已用于生产。较早采用这种工艺的是“普拉特-惠特尼”（Pratt Whitney）公司。

采用旋压工艺制造的航空零件有：涡轮轴、压气机轴、进气道头锥、喷管的尾锥、燃烧室衬套、轴承支座、压气机机匣以及 75 型喷气发动机燃烧室的管材，其直径 2030mm、壁厚 0.38mm、长 9144mm。在透平发动机喷嘴上用的管材是将内径 2958mm、长 1143mm、壁厚 6.2mm 的毛坯旋压而成的薄壁管。喷气发动机采用的复合制件，其圆筒部分外径 55mm、长 541mm、壁厚 1.14 ~ 0.89mm，圆锥部分直径 390mm，零件全长 967 ~ 968mm。

(3) 兵器生产方面 美国采用金属旋压工艺制造破甲弹的药形罩，已将罗尔麦特大旋压机（床身长 7.62m）加以改装，即可旋压外径 101 ~ 305mm、壁厚 50mm 的炮管，并可望旋出内径 178mm、壁厚 101mm 的大型厚壁管件。

(4) 民用工业方面 金属旋压首次大规模应用是制造奶油分离器的圆盘。第二次世界大战以后采用旋压工艺又生产了电视机显像管，以后又生产了水壶、餐杯、量杯、啤酒桶与漏斗、锥桶、奶罐、圆锅、洗衣机鼓桶、气瓶、卡车轴圆盘、液压汽缸、灭火器，另外还用于贮油罐、锅炉封头、压力瓶、乐器以及各种溶液的压力容器的生产。

1.3.2 旋压装备的发展

旋压机是金属旋压的主要设备。为了便于金属旋压工艺的顺利进行，尚需许多配套设备及装置，如熔炼电炉、浇铸装置、车削机床、热处理炉、组合夹具、整形机等。

国外主要生产旋压机床的国家有美国和德国。德国在民用工业中采用旋压工艺早于美国，早期制造的旋压机床中都为中、小型，近年来也制造了大型旋压机床。旋压机床从结构上可分为卧式和立式两种，在国外卧式旋压机床的应用较为广泛，但从发展来看立式旋压机床更有前途。立式旋压机床的刚性大，占地面积小，由于工件的重心垂线与机床主轴中心线重合，故产品精度较高，同时芯模和工件易于装卸，可安装在生产线上使用。

旋压加工是一种金属逐点变形的过程，不属于高速变形过程，但旋压线速度也可以达到 1200 ~ 1500m/min 以上，因此要求旋压机具有快速行程、足够的刚性和防震能力。更突出的是要求旋轮座能够承受足够的径向力、轴向力，主轴要有相当大的功率。旋轮一般采用 2 ~ 3 个，有的小型旋压机是单旋轮。将旋轮对称地安装在主轴周围，以平衡径向力的作用，减小芯模在加工过程中的跳动和挠度。旋轮的进给最好为无级调速。

目前国外旋压机床的总趋势是朝着大型化、系列化、高精度、多用途和

自动化方向发展。

(1) 向大型化、高精度发展 由于尖端技术的需要，发展了大型高精度旋压机。美国 1966 年建造了一批重型旋压机，其中“绿色巨人”为目前世界上最大的旋压机床，可旋 $\phi 6\text{m}$ 、钢板厚度达 127mm 的工件。德国也制造了可旋 $\phi 6\text{m}$ 封头的大型立式施压机。据了解国外已有能旋压 $\phi 7.6\text{m}$ 制件的旋压机。

(2) 发展多种用途的旋压机 一台设备既能进行普通旋压、强力旋压，又能实现精整、卷边、缩颈、切边等工序，德国莱菲尔德公司的 APED 系列机床即属此类旋压机床。

(3) 冷热两用旋压机 现有的强力旋压机上附有加热装置、测温系统、主轴和旋轮的冷却装置以及液压油恒温控制装置就可以进行热旋。加热装置一般采用电子装置自动控制毛坯温度。

(4) 旋压机已经系列化 例如，德国莱菲尔德公司制造的 PLB、ATM、APED、ST、VDM、BOD 等系列的旋压机，美国洛奇-西普莱公司制造的 Floturn 系列旋压机，辛辛纳提制造的 Hydros-pin 系列旋压机等，见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 Leifeld 公司生产的封头无胎冷旋压机

型 号	滑板纵向行程/mm	板坯最大直径/mm	驱动电动机/kW	最大旋压厚度/mm		
				碳钢	铝	不锈钢
BOD47 卧式	—	4700	—	25	—	15
BOD58 卧式	—	5800	—	30	—	18
VDM40000PNC 立式	1750	4000	130/160	30	35	18
VDM50000PNC 立式	2000	5000	160/200	30	35	18
VDM60000PNC 立式	2750	6000	200/250	30	35	18

表 1-3 VF 型旋压机规格系列

型号 型式		VF-400	VF-650		VF-1000	VF-1300	VF-1500
		J. S. K. KS	S. SW	KS. KSW	S. KS. SW. KSW	S. SW	S. SW
项目							
毛坯直径/mm		400	650		1000	1300	1500
毛坯厚度/mm	铝	0.6~32	0.6~0.5	0.6~3.0	1.0~8.0	1.0~8.0	1.2~12.0
	钢	0.6~9.6	0.6~3.2	0.6~1.6	1.0~4.5	1.0~4.5	1.2~7.0
	不锈钢	0.6~1.5	0.6~2.0	0.6~1.0	1.0~3.0	1.0~3.0	1.2~5.0

(5) 采用自动控制 为了提高生产效率，在旋压机上装备有液压仿形随动装置、数字控制系统和电视监督系统，操作者无需接近旋转的工件。20

世纪 60 年代初在旋压机上已采用半自动机构,装卸料为手工作业。新设计的旋压机很多已实现全自动控制,并使成本降低 50%。

美国旋压产品公司的旋压产品中有 15% 是用自动旋压机加工成的。每年在自动化设备上生产 2 万~3 万个电视阴极射线管外壳。在自动旋压机上生产的制品,其直径上的公差为 $\pm 0.05\text{mm}$ 。目前国外用自动旋压机能冷旋压软钢厚 12.7mm、直径 1.4m。

在制造和使用自动旋压机的同时,还必须要考虑机械手操纵进行手工旋压的研究。因为在某些情况下,自动旋压机不能完成手工旋压的零件,手工旋压的完全自动化是一种相当复杂的工作,到现在为止还未得到完全解决。

在一台自动化的旋压机床上,为模仿一个熟练操作者的动作,已采用了摆动模板、滑动模板和液压仿形系统,后来发展为数控。这种数控是将数字预先打在纸带上,再输入给旋压机。而目前使用的自动数控旋压机运用了电子计算机数控原理,这种数控是将数字储存在磁芯数列中。

随着计算机技术的迅速发展,采用计算机数字控制 CNC 技术和录返数字控制 PNC 技术的旋压机是当今世界旋压机制造的主流。如英国的 Boko 公司的 Boko-ZANICNC 型旋压机除具有通过图形显示器编程的特点外,还可以重复调用记录第一次手动施压的数据程序进行反复加工。

传统的手工旋压受限于繁重的体力劳动和对工人熟练技能的依赖,液压助力旋压仍然要求熟练的技巧和重复操作。半自动液压仿形多道次旋压则受限于复合靠模板的型面建立与调整的大工作量。

数控技术的发展为克服上述限制和障碍提供了契机。自 20 世纪 80 年代以来陆续出现了示教录返、数字编程两者复合的控制方式。

就示教录返旋压而言,在今天的数控技术条件下,“录”和“返”过程的建立和控制已不太困难。但是,示教方式则与旋压操作的特殊性和操作者的习惯有联系,需要确立一种较为适用的方式。已有的方式如下。

① 单手柄操纵,在日本 NibonSpindle 公司的 Variformer 旋压机上采用。

② 双手柄操纵,在德国 Leifeld 公司的 PNC 旋压机上采用。

③ 杠杆式活动靠模板操纵,在瑞士 MM 公司的 HF 旋压机上采用,机床需有靠模板架;设置电靠模,在德国 PNC 旋压机床上采用。

④ 脱机编程输入软盘进行示教,美国 Antospin 公司曾采用。

⑤ 数字化仪和鼠标器操纵,在美国 Autospin 分公司的 VideoSpin 机床上采用。

⑥ 曾试用过双电子手轮(光电编码器)操纵,较难获得均匀的轨迹。

第2章 旋压成型的基本方式

2.1 普通旋压的基本方式

在旋制各类薄壁剖面形状的产品时，主要是以改变板坯的形状为主，而板坯的厚度变化较小，称这一类旋压方式为普通旋压。普通旋压的基本方式主要有：拉深旋压（拉旋）、缩径旋压（缩旋）和扩径旋压（扩旋）三种。

2.1.1 拉深旋压

拉深旋压是以径向拉深为主体而使毛坯（板材或预制件）直径减小的成形工艺。也可以说它与拉深成形相类似，但不用冲头而用芯模，不用冲模而用旋轮。它是普通旋压中最主要和应用最广泛的成形方法。毛坯弯曲塑性变形是它主要的变形方式。

由于是靠旋轮的运动旋制工件，所以与拉深相比其加工条件的自由度更大，能制出很复杂的回转对称体。在旋制过程中，对旋轮运动轨迹有较高的要求。因此，把拉深旋压的成形技术说成是掌握旋轮运动的规律并不算过分。对于成形中的旋轮的运动轨迹控制，主要有①手动；②机械仿形；③液压仿形装置；④数控（NC 或 CNC）；⑤录返系统（或称再学习系统）。

2.1.1.1 简单拉深旋压

如图 2-1 所示是用直径为 D_0 、厚度为 t_0 的板坯制出内径为 d （与芯模的直径相同）的圆筒形旋压件。当 D_0 小时只能制出短圆筒件，但是成形非常容易，只需采用简单拉深旋压即可。 D_0/d 称为拉深比，其值小时旋轮只需沿芯模移动一次即进行一道次拉深旋压就能成形。为区别于多道次拉深旋压而称它为简单拉深旋压。旋轮只应沿芯模运动以保证它与芯模的间隙 c 。在实际成形中还需考虑下面几个问题。

（1）旋轮的形状 通常选用直径为 D 、顶端圆角半径为 R 的圆弧状旋轮。将如图 2-1 中所示的旋轮称为标准旋轮。

（2）旋轮的进给速度 通常用拖板运动的速度 v_0 （m/min）表示，但由于在判断成形的效果时要考虑毛坯的转速，因此毛坯每转的旋轮移动量 v

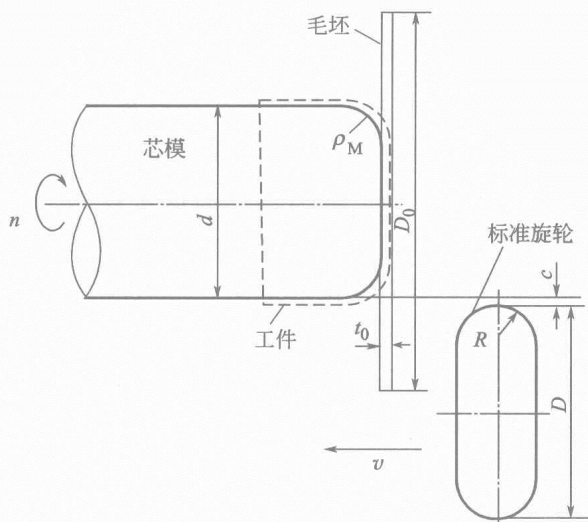


图 2-1 简单拉深旋压和标准旋压

(mm/r) 的大小是极为重要的因素，称其为旋轮进给量。例如在进给速度 v_0 不变的条件下，如果毛坯转速增加了一倍，则旋轮相对毛坯的运动距离变为原来的 $1/2$ ，这样瞬间成形量就变小了。

(3) 芯模的形状 在图 2-1 的情况下芯模是圆柱形，其直径为 d ，端部拐角处的圆角半径为 ρ_M 。在其他情况下芯模的形状随旋压件的形状而异。

(4) 毛坯的转速 要判定所采用的转速 n 能否完成加工，总要与旋轮的进给速度联系起来考虑。如 (2) 中所述，可以在旋轮进给速度不变的条件下改变转速，或者在转速不变的条件下改变旋轮的进给速度。

(5) 毛坯的尺寸和性质 拉深比 D_0/d 或板坯的相对厚度 t_0/d 是拉深旋压能否顺利进行的重要参数。对于拉深旋压时，毛坯的材料主要为低碳钢、低合金钢等具有很好的塑性性能的材料。

用简单拉深旋压制造短圆筒件时，上述事项对旋轮运动的影响如下。

从极限拉深比（成功地进行旋压的指标）来看，可以说旋轮直径 D 几乎没有影响，而旋轮圆角半径 R 越大，则毛坯与旋轮行进前方的接触越平缓，工件就不容易起皱，因而有利于加大极限拉深比。而且 R 加大了，壁厚就不容易减薄或产生颈缩。因此一般认为采用大的圆角半径比较好，常用值是 $R/t_0 > 5$ 。

加大旋轮的进给速度工件就容易起皱；反之进给速度太低，则在成形終了之前毛坯与旋轮的旋转接触次数增加，使毛坯的同一处的摩擦次数增多而易导致壁部的破裂。因此旋轮的进给速度应从它与毛坯转速的关系上去考虑。旋轮运动的这条原则以及旋轮的形状，对拉深旋压来说都是很重要的。

在芯模端面的圆角处成形时，难于使旋轮在行进中沿着圆角接触板坯。